瞬間気流焼成によって得られたⅡ型無水石膏の性質*

The Properties of II-CaSO₄ Obtained by Flash-Calcination

田中 弘文** 内田 清彦***
Hirobumi TANAKA Kiyohiko UCHIDA

兼 先 泰 道***
Yasumichi KANESAKI

1. 緒 言

Ⅱ型無水石膏（Ⅱ-CaSO₄）は通常天然に産出する。一般に、実験室的には二水石膏（CaSO₄・2H₂O）を約400℃以上、また工業的には約700℃以上の雰囲気下に加熱して得られる。現在工業的に実施されている方法は、螢石に濃硫酸を反応させてフッ酸を製造するプロセスの副産物としてであり、このいわゆる“フッ酸無水石膏”は特殊セメントの製造原料の主要な供給源となっている。

CaSO₄-H₂O系の化合物の諸物性については古くから数多くの研究があるが、示差熱分析、熱天秤、X線回折などによって二水石膏の二次脱水後にⅡ型無水石膏の生成を示す発熱のあることが明らかにされている¹⁾。すなわち、二水石膏やβ型半水石膏（β-CaSO₄・1/2H₂O）から出発すれば二次脱水温度よりやや高い300℃～350℃位でⅡ型無水石膏生成の発熱を示す。α型半水石膏（α-CaSO₄・1/2H₂O）からでは二次脱水直後の200～250℃位で発熱を示す。したがって、Ⅱ型無水石膏は出発物質の差を考慮に入れても250～300℃付近で生成が始まると考えられる。また加熱時間や加熱温

度が生成するⅡ型無水石膏の結晶子の大きさや硬化強度に影響することなどが知られている²⁾。

本研究では排脱二水石膏を用い、きわめて今日的課題でもある省エネルギーを最重点において、Ⅱ型無水石膏を製造するためにパイロットプラント規模の焼成炉（以下この焼成炉の特徴にもとづきこれを瞬間気流焼成炉と呼ぶ）を設計製作した。本焼成炉は、被熱物の炉内滞留時間が数秒単位ときわめて短かく、焼成温度の調節だけで性質の異なるⅡ型無水石膏が得られるものである。焼成に要する熱量も回転炉焼成に比べて半分以上となる。以下、この瞬間気流焼成炉で焼成したⅡ型無水石膏の性質について明らかにする。

2. 実 験

2.1 原 料

使用した粉状二水石膏は、製鉄工業で発生する廃ガス中のSO₂を石灰石-石膏法排煙脱硫装置で処理して得られたものである。その色は淡褐色で化学組成はTable 1、粒度分布はFig. 1に各々示す。Table 1にはフッ酸無水石膏の化学組成も併記してある。これらよりこの排脱石膏は、CaSO₄・2H₂Oとしての含有量

Table 1 排煙脱硫石膏とフッ酸無水石膏の化学組成

	Chemical Composition (%)								Attached Water(%)
	Ig. loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Total	
Desulphogypsum	19.23	0.26	0.22	0.14	32.06	0.00	46.32	98.33	3.38
*Fluorogypsum	0.36	0.10	0.43	0.63	40.86	0.20	55.00	97.58	—

*Ⅱ-CaSO₄

昭和57年5月28日受付

* 粉体工学会昭和55年度秋期研究発表会にて発表(1980.10東京)

***住友セメント(株) (〒101 東京都千代田区神田美土代町1)

TEL 03-295-5111

***住友セメント(株)中央研究所(〒274 船橋市豊富町585)

TEL 0474-57-0181

Fig. 1 排煙脱硫石こうの粒度分布

は高く、また、粒子は $15 \sim 35 \mu$ の範囲の大きさのものが中心になっていることがわかる。

2.2 瞬間気流焼成炉

粉状の排脱二水石こうを熱経済的に焼成し、Ⅱ型無水石こうを製造するため中間規模の瞬間気流焼成炉を設計製作し、稼動した。その最大焼成能力は、Ⅱ型無水石こうとして 400 kg/hr である。燃料はガス（プロパン）、液体（A重油、灯油）のいずれもが適用しうる。

Fig. 2 は炉の構成、炉内ガス、粉体（被熱物）の流れを示したものである。以下に Fig. 2 のガス流れ、粉体流れについて焼成温度が約 600°C の場合を例にとり簡単に説明する。

すなわち、約 5% の付着水分を含む常温の原料排脱石こうは、スクリーコンベアを経て Cyclone 2 からの

煙道気流に乗るように Cyclone 2 の上部煙道に供給される。排脱石こうはこの煙道気流（ガス温度 203°C ）とともにディスインテグレーターに入り、ここで乾燥と粒塊の解砕が行なわれる。その後は両者共 Cyclone 1 に入り、排脱石こうは完全に乾燥される。排ガス（ 100°C ）は Cyclone 1 の上部煙道を通してバッグフィルター（Fig. 2 には示されていない）に至り、ここで浮遊する微小粒子（供給された排脱石こうの全量の約 5%）が完全に捕集される。

Cyclone 1 の底部より排出された乾燥排脱石こうは Cyclone 3 からの上昇気流（ 656°C ）に乗って Cyclone 2 に入る。この高温ガスとの接触で排脱二水石こうは、半水石こうまたはⅢ型 β 無水石こう（ $\text{III} \cdot \beta \cdot \text{CaSO}_4$ ）まで脱水されて Cyclone 2 の底部より排出される。さらに生成した半水石こう（またはⅢ型 β 無水石こう）は、Cyclone 4 からの上昇気流（ 151°C ）に乗って Cyclone 3 に供給される。Cyclone 3 内部には、3本のバーナーが内壁の接線方向に備えられており、このバーナー火炎の旋回流中に石こう粒子が分散される。すなわち、Cyclone 3 は燃焼加熱室であり、被熱物粉体に対する伝熱量はきわめて大きく、ここで焼成の最終段階が行なわれる。またその形状は基本的には Cyclone 型であるため、バーナー火炎通過後直ちに粉体はガス流から分離される。

Cyclone 3 までの過程で一部脱水した排脱石こうは、この装置のうちで最高温（この場合は 656°C ）を示す Cyclone 3 ですべてⅡ型無水石こうになり、底部より排出される。このⅡ型無水石こうが実際には製品となるが、この時点では約 650°C の高温状態にある。したがってその保有する顕熱を回収するために、送風機によって外部から冷空気が送入される。Cyclone 3 の底部から排出されたⅡ型無水石こうは、冷空気で Cyclone 4 に連ばれながら熱交換し、 329°C まで冷却されて底部より排出される。実際の製造装置であれば熱経済的にもう一段熱回収が必要となるが、本研究では中間規模焼成炉でもあるので、Cyclone 4 の下部に設置した水冷却機付スクリーコンベア（Fig. 2 には示されていない）によって生成Ⅱ型無水石こうは 150°C まで冷却され、系外に排出される。Cyclone 4 からの上昇ガスは 151°C で Cyclone 3 に供給され、燃焼用 2 次空気として使用される。

本研究で使用された瞬間気流焼成装置の特徴は以上のようにあり、これらを要約すると、全体で 4 個の Cyclone を備え、各々において被熱物粉体とガス（火炎または燃焼ガスまたは空気）との間に熱交換が行なわれ

Fig. 2 瞬間気流焼成炉系統図

Fig. 3 排脱石こうの600°C瞬間気流焼成熱精算図

すなわち、Cyclone 1 では原料排脱石こうの乾燥と予熱、Cyclone 2 では半水石こうまたはⅢ型β無水石こうの生成、Cyclone 3 ではⅡ型無水石こうの生成、Cyclone 4 では生成Ⅱ型無水石こうの冷却と燃焼用二次空気の予熱が行なわれる。

原料粉体が系に入ってⅡ型無水石こうとして Cyclone 4 の底部から排出されるまでの系内滞留時間は、数秒単位ときわめて短いため生成するⅡ型無水石こうの性状は主として焼成温度のみに依存すると考えられる。

Fig. 3 はプロパンガスを燃料として約600°Cで焼成した場合の全体の熱精算を示す。この場合、生成Ⅱ型無水石こう1 ton 当りの焼成熱量は、大略50万Kcal（時間当りの生産量400 kg/hrである）であった。二水石こうをⅡ型無水石こうとするときの理論焼成熱量は、原料二水石こうの温度20°C、生成Ⅱ型無水石こうの排出温度200°C、排ガス温度100°Cと設定し求めると、Ⅱ型無水石こう1 ton 当り約27万Kcalとなるので、本瞬間気流焼成装置の熱効率率は約600°C焼成の場合、およそ50~60%とみなすことができる。

2.3 焼成Ⅱ型無水石こうの性質

上記焼成装置を用いて約250, 600, 800°Cでそれぞれ排脱石こうを焼成した。ここでいう焼成温度は、Cyclone 3 の底部に設置した熱電対の示す温度で、Cyclone 3 の底部より生成Ⅱ型無水石こうが排出される寸前の温度である。当初、バーナー部近傍の温度をもって焼成温度とすることを検討したが、かなり実測値がバラツキ信

Fig. 4 各温度焼成物のX線回折図

Fig. 5 各温度焼成物の細孔径分布

頼性が得られなかった。そこで本実験では数秒というきわめて短時間での焼成であることを考慮し、上述のように分離した直後の固体の温度をもって焼成温度と定義した。

Fig. 4 に各焼成温度で得られた 焼成物の 粉末X線回折を示す。250°C では一部半水石こうが共存しているが、600, 800°C ではⅡ型無水石こうのみとなる。Fig.

5 は水銀圧入式ポロシメーターによって得られた各焼成物の細孔分布を示す。Fig. 6(1), (2), (3)は走査型電子顕微鏡で観察された各々の焼成物の表面状態を示す。Fig. 6(4), (5)には比較のために排脱二水石こうとフッ酸無水石こうを各々示した。Fig. 7 は各温度焼成物およびフッ酸無水石こう、そして焼石こう（ β 型半水石こうとⅢ型 β 無水石こうが共存）の水和速度の差を検討するた

(1) gypsum calcined at 250°C

(3) gypsum calcined at 800°C

(2) gypsum calcined at 600°C

(4) desulpho-gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

Fig. 6 各温度焼成物, 排脱石こうおよびフッ酸無水石こうの S.E.M. 像

(5) fluoro-gypsum (II- CaSO_4)

Fig. 6 のつづき

Fig. 7 各温度焼成物、フッ酸無水石膏および焼石膏の水和発熱曲線

め、伝導熱量計によって得られた温度 20°C 、混水量 50 % における水和発熱量の時間変化を示したものである。Fig. 8 は各焼成物の材令 6 時間、1 日、7 日における水和硬化体破断面の走査型電子顕微鏡写真を示す。

3. 結果と考察

本研究で用いられた瞬間気流焼成炉の特徴は、焼成のためのエネルギー効率がすぐれていることはもちろんであるが、被熱物粉体の炉内滞留時間が数秒単位と極めて短いことである。通常、物質の加熱変化では加熱時

間と加熱温度が、加熱後の性状にとって重要な因子となる。本焼成炉は前記のように、被熱物粉体が高湿ガス（火炎または燃焼ガス）中に均一に分散して加熱されるため焼成速度がきわめて速く、焼成に要する時間はきわめて短い。したがって、本焼成炉を用いた焼成においては、焼成温度を変えるだけで種々の性状の焼成物を得ることができる。もちろんこのためには、被熱物粉体が気流中に均一に分散されることが必要で、Fig. 1 に示したように大部分が約 $40\ \mu$ 以下の微粒子から構成されていなければならない。

加熱によって二水石膏がⅡ型無水石膏こうに変化する過程では、結晶水の脱離と再結晶化（結晶子の発達）が起こる。前者は空隙の発生であり、後者は空隙の減少を伴うと考えられる。

二水石膏の示差熱分析 (DTA) 測定からは、通常二次脱水終了後 $300\sim 350^\circ\text{C}$ の間でⅡ型無水石膏こうの生成を示す発熱がみられる。一方、Fig. 4 において 250°C 、 600°C 、 800°C いずれの焼成温度でもⅡ型無水石膏こうが生成することを示したが、このうち 250°C 焼成でのⅡ型無水石膏こうの生成はこの DTA 測定の結果からみてやや早すぎるように考えられる。しかし、DTA と本気流焼成炉では加熱の環境条件が異なる。前にも述べたように被熱物が微粒子でしかも分散状態で加熱されていることを考えれば、 250°C でのⅡ型無水石膏こうの生成は当然起こり得る。もっとも 250°C 焼成物には少量の半水石膏こうも認められ、この温度が本気流焼成炉を用いてⅡ型無水石膏こうを焼成する場合の下限温度といえよう。

Fig. 5 に示した各焼成物の細孔径分布をみると、 250°C で $350\ \text{\AA}\sim 0.35\ \mu$ の空隙が多量に存在するが、 600°C 、 800°C と焼成温度が上昇するにつれて、 $350\ \text{\AA}\sim 0.35\ \mu$ の空隙が減少して $35\sim 50\ \text{\AA}$ の微細空隙が増加している。これは焼成時間が数秒程度の条件下でも焼成温度の上昇によって、一種の焼結のような現象が充分起こり得ることを示している。Fig. 6 (1), (2), (3), (4), (5) の走査型電子顕微鏡写真をみると、滑らかな面をもつ二水石膏こう結晶表面 (Fig. 6 (4)) にくらべて 250°C 焼成物の表面 (Fig. 6 (1)) はきわめて粗放となっており、 600°C 、 800°C と焼成温度が上昇するにつれて空隙が狭くなっていくのがわかる (Fig. 6 (2), (3))。このことは Fig. 5 の結果と一致する。

Fig. 6 (5) は、先に述べたようにフッ酸製造の際に副産物として得られるⅡ型無水石膏こうの結晶を示すもので、二水石膏の気流焼成によって得られるⅡ型無水石膏こうとはまったく外観が異なる。フッ酸の工業的製造プロセスでは、螢石の粉末と濃硫酸との反応によって温度

6 hours

1 day

7 days

(1) gypsum calcined at 250°C

6 hours

1 day

7 days

(2) gypsum calcined at 600°C

6 hours

1 day

7 days

(3) gypsum calcined at 800°C

Fig. 8 各温度焼成物の水和硬化体破断面の S.E.M. 像

は 600~700°C まで上昇する³⁾。この時生成するⅡ型無水石こうが、このように整った外観をもつのは生成過程で液相が介在して、溶解・再結晶によって生成するためと考えられる。

以上のことから、炉内滞留時間がきわめて短くとも焼成温度の相違によって異なる性状のⅡ型無水石こうが得られることが明らかである。次に、Ⅱ型無水石こうのような水硬性材料のもつ重要な特性の一つである水和特性から、この性状の違いを明らかにする。

Fig. 7 は、250, 600, 800°C の各焼成物と 180°C 電気炉焼成で得た焼石こう (β 型半水石こうとⅢ型 β 無水石こうの共存物) およびフッ酸Ⅱ型無水石こうの水和発熱曲線を伝導熱量計で求めた結果である。フッ酸Ⅱ型無水石こうを除けば焼成温度が高くなるにつれて順に水和が遅れる。すなわち水和速度が小さくなる傾向がみられる。特に焼石こうと 250°C 焼成物はその曲線の形はよくにているし、また他の 2 つもこれらとそれほど大きな違いはない。つまり、水和発熱曲線でみる限りこれらの各焼成物の水和特性には共通性が認められる。そこでこれらの水和の機構に対して、固体表面から溶出した溶質または固体表面と水との反応生成物が核として析出し、その核への溶質の析出・結晶成長がさらに溶解や核生成を促進すると仮定して、次の自己触媒反応の速度式⁴⁾を

$$\ln \{x/(1-x)\} = kt$$

適用すると、Fig. 9 がえられる。これは 10°C, 15°C, 20°C の各温度における水和特性を、Fig. 7 と同様に求めた結果にもとづき水和発熱量の積算値から各時間における水和率 x を算出することにより得たものである。図ではグラフ目盛の関係上、焼石こうと 250°C 焼成物に対する結果を省略してあるが (Fig. 9 のグラフ上左隅に急激にたち上がる)、いずれの場合も上式によく適合した。

Fig. 9 水和発熱量から求めた $\ln \{x/(1-x)\}$ と t の相関

つまり Fig. 9 は、上式が焼石こうからⅡ型無水石こうまでその水和反応に対しよく適合し、しかも焼成温度の上昇につれて水和反応定数が小さくなる、すなわち水和速度が遅くなるということを示しており、Fig. 7 の結果と一致する。結局、これらのことがらには、焼石こうとⅡ型無水石こうの水和の機構は同じであって、その間に不連続はなく、ただ焼成温度の上昇に従ってその水和速度が遅くなるだけであるという興味深い事実を示している。

次に 250, 600, 800°C 各焼成物の水和硬化体組織を走査型電子顕微鏡を用いて観察し、材令による経時変化を調べた。その結果を Fig. 8 に示した。

いずれの焼成物も粉末 X 線回折により注水後 1 日ではほぼ完全に水和して二水石こうになっていることが確認されたが、図のように各々結晶形態が微妙に異なっている。250°C 焼成物では、注水 6 時間後にはやくも比較的大きな薄い板状結晶が生成しており、しかもこれがからみ合った状態で生成しているため空隙が多い。その後 1 日、7 日と材令が経過してもあまり大きな形態の変化は認められない。それに対して 600°C 焼成物では、6 時間経過ではまだかなりのⅡ型無水石こうが未水和のまま原形とどめているが、材令 1 日ではほぼ水和は完了し生成する二水石こうは 0.5 μ 以下の微結晶の集合体で、所々に針状結晶 (0.5~1 μ 幅, 5~10 μ 長) がみられる。

材令が進むにつれてこれらの微結晶は再結晶化して数 μ ~数 10 μ の針状結晶に成長しており、それに伴ない強度も著しく増加した。さらに 800°C 焼成物ではこの傾向は著しく、材令 1 日でⅡ型無水石こうを母体とした微結晶 (0.5 μ 以下) 集合体が生成している。またこの微結晶集合体から形態のはっきりした二水石こうが成長している様子が見える。材令 7 日ではこのような微結晶は姿を消し、成長した二水石こう結晶が互いに結合し緻密硬化体となっている。一方、各焼成物の粉末 X 線回折度より Debye-Scherrer の式⁵⁾を用いてそれぞれの結晶子の大きさを求めてみたところ、250°C 焼成物が最も小さく、600°C, 800°C の順に大きくなることがわかった。

以上得られた結果と先に Fig. 5 で示した各焼成物の細孔径分布とを合わせて考えると次のようになる。

250°C 焼成物は、350 Å~0.35 μ の比較的大きな細孔が多量に存在するため水が容易に粒子内に侵入でき、しかも結晶子が最も小さいためきわめて急激に水和が進行する。その結果水和の初期に細かい針状結晶が多数生成し、これが急速に成長するため空隙の多い従って硬化度の低い硬化組織となるのである。それに対して 600°C, 800°C と焼成温度が上がるにつれて細孔径はより小さい

方に移るため、水の侵入もゆっくりしたものとなり、しかも結晶子が大きくなっていくため水和はゆるやかに進行する。その結果これらの水和硬化体は結晶のよく発達した強度の大きい緻密な組織となるのである。

以上述べてきたことをまとめると、著者らが開発した瞬間気流焼成法で得られたⅡ型無水石膏は、きわめて短かい焼成時間でしかも焼成温度の下限が 250°C とこれまでにない低温度から焼成可能であること、焼成温度を変えるだけで性状の異なる焼成物が得られるがこれらの水和の機構はすべて同じで、ただ焼成温度によりその細孔径分布と結晶子の大きさが連続的に変化するため水和速度もこれに応じて変化する、ということである。

4. 結 言

二水石膏粉体を高温ガス（火炎または燃焼ガス）中に均一分散して瞬間的に焼成を行なう瞬間気流焼成法では、通常の生成温度より低い温度 250°C からⅡ型無水石膏を焼成することができた。また焼成物の性質は焼成温度に大きく依存することがわかった。それは焼成物のもつ細孔特性と結晶子の大きさが、焼成温度に応じて連続的に変化するためである。

なお本研究は、通産省の昭和51年度重要技術研究開発費補助金の融資を受けて行なわれた開発研究の一部を整理したものである。

使 用 記 号

k : 反応速度定数	[1/hr]	Q_{10} : 壁貫流熱損失	[kcal/hr]
Q_0 : 燃料の燃焼熱量	[kcal/hr]	Q_{11} : 石膏無水化 ($\text{III} \cdot \text{CaSO}_4 \rightarrow \text{II} \cdot \text{CaSO}_4$) 反応熱	[kcal/hr]
Q_1 : ガス持出熱量	[kcal/hr]	Q_{12} : 石膏無水化 ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{III} \cdot \text{CaSO}_4$) 反応熱	[kcal/hr]
Q_2 : 固体持出熱量	[kcal/hr]	Q_{13} : サイクロン 3 入熱	[kcal/hr]
Q_3 : 付着水分蒸発熱量	[kcal/hr]	Q_{14} : 予熱空気顕熱	[kcal/hr]
Q_4 : サイクロン 1 入熱	[kcal/hr]	Q_{15} : 壁貫流熱損失	[kcal/hr]
Q_5 : 石膏半水化 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$) 反応熱	[kcal/hr]	Q_{16} : 焼成石膏持出熱量	[kcal/hr]
Q_6 : サイクロン 2 入熱	[kcal/hr]	t : 時間	[hr]
Q_7 : 石膏顕熱	[kcal/hr]	x : 水和反応率	[-]
Q_8 : サイクロン 3 出口ガス顕熱	[kcal/hr]		
Q_9 : 石膏顕熱	[kcal/hr]		

引 用 文 献

- 宮崎秀甫：工化誌，69，[1]，9(1966)；工化誌，70，[3]，261 (1967)
- “石膏石灰ハンドブック” p. 115～117，技報堂 (1972)
- “化学便覧応用編” p. 147～148，丸善 (1980)
- Levenspiel, O.: “Chemical Reaction Engineering” p. 149～151 (1972)
- Klug, H. P. and L. E. Alexander: “X-ray Diffraction Procedures” p. 652～657 (1974)

Authors' Abstract

The Properties of II- CaSO_4 Obtained by Flash-Calcination by

Hirobumi TANAKA, Kiyohiko UCHIDA and Yasumichi KANESAKI
(Central Research Laboratory, SUMITOMO CEMENT CO., LTD., Funabashi, Chiba)

This paper is concerned with a process of manufacturing II- CaSO_4 from powdered gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) and the properties of the products obtained from the process.

Apart from fluorogypsum (II- CaSO_4) formed as by-product in the industrial manufacture of hydrofluoric acid, II- CaSO_4 is usually produced by calcining (at 600～800°C) in a rotary kiln or shaft kiln, which consumes a larger amount of heat energy.

In order to manufacture II- CaSO_4 at lower cost, the authors have developed a new technique of manufacturing II- CaSO_4 which calcines powdered gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) instantly by dispersing it into an atmosphere of high temperature gas including flames.

The main characteristics of this technique are as follows:

- (1) Time for calcining is a few seconds.
- (2) Heat for calcining is below half of those of the old techniques.
- (3) II-CaSO₄ can be produced even at 250°C which is below the conversion temperature, from III-β-CaSO₄ to II-CaSO₄, obtained by DTA.

The properties of the products calcined at 250, 600 and 800°C, such as pore size distribution, heat of hydration and micro-structures of hydrated bodies were investigated.

On the basis of these results, it has been proven that the hydration reaction of each product proceeds under the same mechanism. The rate of heat evolution depends upon their micropore distribution and size of crystallite which are characterized by the calcining temperatures.

Using this new calcining technique, consequently, various types of II-CaSO₄ can be obtained only by changing the calcining temperature.

List of Figures and Table

Fig. 1 Particle size distribution of desulpho-gypsum	surfaces of products, desulpho-and fluoro-gypsum
Fig. 2 Schematic flow diagram of flash calcination	Fig. 7 Heat evolution of products, fluoro-gypsum and β-CaSO ₄ · ½ H ₂ O
Fig. 3 Heat balance for 600°C calcination of desulpho-gypsum using flash calciner	Fig. 8 Scanning electron micrographs of fractured surfaces of hydrated bodies at 6 hours, 1 and 7 days
Fig. 4 X-ray diffraction patterns of products calcined at 250, 600 and 800°C	Fig. 9 Relationship between $\ln \{x/(1-x)\}$ and t calculated from results of heat evolution
Fig. 5 Pore size distribution of products calcined at 250, 600 and 800°C	Table 1 Chemical composition of desulpho-and fluoro-gypsum
Fig. 6 Scanning electron micrographs of the	

研究報告

回転傾斜液柱管内の粒子の挙動と分級*

Behaviours of a Single Particle and Classification in Rotating Tilted Liquid Column

上 田 光三郎** 白 根 恒太郎***
Kouzaburo UEDA Kotaro SHIRANE
青 木 一 郎***
Ichiro AOKI

1. 緒 言

近年 10 μm 前後の blood cell あるいはそれより小さい sub-cellular particle のような生物試料をその生理的

機能を失うことなく高精度で分離分級する要求が高まっている。このような密度が水に近い微小粒子を液相中で分級する方法として、青木、白根により回転傾斜液柱管を用いる方法の有効性が見出され¹⁾、その後実用化を目指して、分級機構の解明と分級方式の開発が進められて来た²⁻³⁾。

回転傾斜液柱管は Fig. 1 に示すように管内を適当な溶媒で充満させ、左上部に微粒子を入れた後管を水平

昭和57年6月7日受付

*化学工学協会第47年會にて発表(1982.4東京)

**京都大学工学部(〒606 京都市左京区吉田本町)

TEL 075-751-211

***大阪市立大学医学部(〒545 大阪市阿倍野区旭町1-4-54)

TEL 06-633-1221